

Б19

P-P

347/-

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР
КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. А. М. ГОРЬКОГО

Х. БАИДЖАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
КОЭФФИЦИЕНТОВ ВНУТРЕННЕГО
МАССОПЕРЕНОСА ТИПИЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ОТ РАЗЛИЧИЯ ФОРМ СВЯЗИ
ПОГЛОЩЕННОЙ ВЛАГИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель — кандидат физико-математических наук,
доцент В. П. ДУЩЕНКО

КИЕВ — 1967

НБ НПУ
імені М.П. Драгоманова



100310709

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР
КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. А. М. ГОРЬКОГО

Х. БАЙДЖАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
КОЭФФИЦИЕНТОВ ВНУТРЕННЕГО
МАССОПЕРЕНОСА ТИПИЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ОТ РАЗЛИЧИЯ ФОРМ СВЯЗИ
ПОГЛОЩЕННОЙ ВЛАГИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

78

ЗУМ (ЛУК)

Научный руководитель — кандидат физико-математических наук,
доцент В. П. ДУЩЕНКО



КИЕВ—1967

**Киевский государственный педагогический институт
им. А. М. Горького**

Киев, Бульвар Шевченко, 22/24

Направляем Вам для ознакомления автореферат диссертации **Б а й д ж а н о в а Х.**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Работа выполнена на кафедре физики Киевского государственного педагогического института им. А. М. Горького.

Решением Ученого Совета Киевского государственного педагогического института им. А. М. Горького официальными оппонентами утверждены:

1. Доктор технических наук, профессор **М. Ф. КАЗАНСКИЙ**.

2. Кандидат физико-математических наук, доцент **М. В. ВЕНЕДИКТОВ**.

Автореферат разослан « . . . » 1967 г.

Защита диссертации состоится « . . . » 1967 г.
в Киевском государственном педагогическом институте
им. А. М. Горького (Киев, Бульвар Шевченко, 22/24).

Большинство материалов, применяемых в народном хозяйстве, представляет собой дисперсные материалы, поглощающие значительное количество влаги, которая по-разному связывается с твердой фазой тела.

Процессы переноса влаги и тепла внутри дисперсных материалов лежат в основе их гидротермической обработки в самых разнообразных отраслях народного хозяйства.

Обоснование рациональных методов и оптимальных режимов гидротермической обработки различных дисперсных материалов требует знания коэффициентов внутреннего массо- и теплопереноса и их зависимостей от влагосодержания, пористой структуры материалов и форм связи влаги с твердой фазой тела.

Знание этих коэффициентов необходимо также для анализа процессов переноса влаги и тепла в дисперсных материалах различной пористой структуры, для обработки результатов экспериментальных исследований кинетики внутреннего массо- и теплопереноса в критериальной форме, для аналитического описания задач массо- и теплопереноса с конкретными условиями однозначности.

Исследование зависимости коэффициентов внутреннего массо- и теплопереноса от влагосодержания материала в совокупности с сорбционными и калориметрическими исследованиями позволяет получить ряд важных результатов относительно характера взаимодействия влаги с твердой фазой тела, что представляет большой теоретический интерес для дальнейшего развития молекулярной физики и термодинамики дисперсных тел.

Исследование коэффициентов внутреннего массопереноса дисперсных материалов в последнее время становится особенно актуальным в связи с дальнейшей интенсификацией процессов гидротермической обработки влажных материалов в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства.

В то время, как вопрос зависимости коэффициентов внутреннего теплопереноса типичных дисперсных материалов различной пористой структуры от влагосодержания исследован

довольно полно, исследования коэффициентов внутреннего массопереноса типичных дисперсных материалов, несмотря на все увеличивающееся число исследований внутреннего массо- и теплопереноса в дисперсных материалах, носят отрывочный, не систематический характер.

Имеющиеся в литературе данные разных авторов для одного и того же материала не только не совпадают количественно, но порой не совпадает качественно даже характер изменения коэффициентов внутреннего массопереноса от влагосодержания и температуры.

Это, очевидно, связано с недостаточно строгим использованием разными авторами различных методов определения этих коэффициентов и со значительными экспериментальными трудностями в этой области, что не всегда позволяет получить надежные результаты.

Кроме того, литературные данные порой приведены без описания комплекса условий проведения эксперимента, что лишает возможности их проверки и анализа.

Слабо освещенным остается вопрос влияния форм и состояний поглощенной влаги на коэффициенты внутреннего массопереноса для типичных дисперсных материалов.

Выше перечисленное, нам кажется, достаточно полно свидетельствует об актуальности, практической и теоретической ценности проведения исследования зависимости коэффициентов внутреннего изотермического и неизотермического массопереноса типичных влажных дисперсных материалов от их влагосодержания с учетом различия форм связи влаги с твердой фазой тела, их пористой структуры и температуры.

Исходя из этого, основные задачи диссертационной работы свелись к следующим:

1. Выбор наиболее эффективных, простых в экспериментальном выполнении методов определения коэффициентов внутреннего массопереноса, водоудерживающих свойств и пористой структуры типичных дисперсных материалов в широком диапазоне влагосодержаний.

2. Изучение водоудерживающих свойств и пористой структуры объектов исследования, а также получение некоторых термодинамических характеристик влаги, по-разному связанной с твердой фазой тела.

3. Исследование зависимости коэффициентов внутреннего массопереноса типичных дисперсных материалов от их влагосодержания и температуры.

4. На основе экспериментальных результатов выяснить влияние пористой структуры, форм связи влаги с твердой фа-

зой, вида переноса влаги (в виде пара или жидкости) на характер изменения коэффициентов внутреннего массопереноса типичных дисперсных материалов от влагосодержания и температуры.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов, изложенных на 153 страницах машинописного текста. Кроме того, диссертация содержит 43 рисунка, перечень использованной литературы и приложения первичных экспериментальных данных.

I

В первой главе диссертационной работы на основе термодинамики необратимых процессов, фундаментальных работ А. В. Лыкова и других авторов рассмотрены основные законы и дифференциальные уравнения внутреннего изотермического и неизотермического массопереноса, а также приведен обзор теоретических и экспериментальных работ по изучению механизма молекулярно-молярного переноса влаги в типичных дисперсных материалах в изотермических и неизотермических условиях. Приводится также критический анализ известных методов определения коэффициентов внутреннего массопереноса влажных дисперсных материалов и имеющихся в литературе работ по исследованию зависимости коэффициентов внутреннего массопереноса от влагосодержания, плотности материала и температуры.

Механизм переноса влаги (в виде пара или жидкости) в дисперсных материалах в основном определяется формами и видами связи ее с твердой фазой материала и особенностью их пористой структуры, а также условиями взаимодействия тела с окружающей средой.

Известные нам исследования зависимостей коэффициентов внутреннего массопереноса отдельно взятых материалов от влагосодержания и температуры в основном выполнены в связи с практическими расчетами сушильных установок ряда отраслей промышленности и не носят систематического характера.

В этих исследованиях рассматривается только зависимость коэффициентов внутреннего массопереноса материалов от их интегрального влагосодержания, без учета возможного влияния различных форм и состояний влаги в материале и его пористой структуры. Кроме того, эти исследования большей частью не охватывают всей области гигроскопического и влажного состояния материалов.

Анализ литературных данных и наши предварительные

опыты позволяют сделать вывод, что для определения коэффициента диффузии влаги дисперсных материалов a_m наиболее прост и удобен метод нестационарного потока влаги в изотермических условиях по А. В. Лыкову с использованием видоизмененной В. Д. Ермоленко расчетной формулы. Этот метод позволяет из одного опыта, кроме коэффициента a_m , определить экспериментальный потенциал массопереноса Θ , удельную изотермическую массосъемность s_m и коэффициент массопроводности (влажнопроводности) λ_m в широком диапазоне влагосодержаний материала.

С целью повышения надежности и точности метода, а также более строгого контроля выполнения граничных условий при определении коэффициентов внутреннего массопереноса проведены усовершенствования экспериментального выполнения этого метода. Был сконструирован специальный измерительный цилиндр, который состоит из двух равных частей длиной 50 мм и внутренним диаметром 36 мм. Обе части цилиндра соединяются с помощью специальной муфты на резьбе. На стыке соединения этих частей имеются углубления для круглой резиновой прокладки, что обеспечивает надежную влагоизоляцию исследуемого и эталонного материалов. Концы цилиндров герметизировались с помощью крышек с резиновыми прокладками. Для надежности контакта исследуемого и эталонного материалов в крышку полуцилиндра с эталоном вставлялась пружина, плотно прижимающая эталонный материал к исследуемому при ввинчивании крышки.

Данный метод справедлив только для малых значений времени ($Fo_m < 0,1$), при которых влагосодержание материалов вдали от границы их соприкосновения остается постоянным и равным начальному.

Поэтому в процессе проведения опытов важным является контроль постоянства влагосодержаний на концах соприкасающихся материалов, которое эквивалентно соблюдению условий полуограниченности исследуемого и эталонного материалов, требуемого теорией метода. Для этой цели были использованы электрические методы измерения влагосодержаний (емкостный и кондуктометрический).

Электроды датчика влагосодержаний изготовлены из нержавеющей стали в виде колец высотой 12 мм. Диаметры наружного кольца — 32/28 мм, внутреннего — 11/8 мм. Наружное кольцо плотно вставляется в сплошной эбонитовый цилиндрический кожух. В середине его оставлен стержень, на который одето внутреннее кольцо. В собранном виде коаксиальный датчик механически прочный. Он крепится ко дну крышки с

резиновой прокладкой. Электроды датчика имеют самостоятельные выводы на измерительный прибор через штепсельные разъемы, укрепленные на боковой поверхности крышки. Собранный таким образом датчик с крышкой ввинчивается внутрь измерительного цилиндра. Диэлектрическая проницаемость слоя исследуемого материала при малых влагосодержаниях измерялась с помощью дискриминатора на частоте 465 кГц, катушка связи которого питается от ГСС-6. Для измерения сопротивления слоя влажного материала при больших влагосодержаниях использован реохордный мост типа Р38, питаемый от ЗГ-10 ($f=1-1,5$ кГц).

Проведенные нами экспериментальные усовершенствования этого метода дают возможность более точно определять массу диффундирующей влаги через единицу площади поверхности соприкосновения материалов и устанавливать продолжительность проведения опытов. Это делает метод надежным и удобным в экспериментальном отношении.

Воспроизводимость определения коэффициента диффузии влаги при различных фиксированных влагосодержаниях материалов оценена путем многократно повторяемых опытов и составляет 5—7%.

В наших исследованиях при температуре 20°C продолжительность опытов составляла от 1,5 до 3 часов, при температуре 40°C — от 0,5 до 2 часов, при температуре 60°C — от 20 мин до 1 часа в зависимости от начального влагосодержания, плотности и структуры материала.

Для определения термоградиентного коэффициента нами выбран стационарный метод, который несмотря на значительную длительность опытов зарекомендовал себя как весьма надежный и простой в экспериментальном отношении.

Здесь же описана методика подготовки образцов материалов к исследованию, а также методика проведения опытов по определению коэффициентов внутреннего массопереноса.

II

Во второй главе приведен обзор современного учения о формах и состояниях влаги, поглощенной дисперсными материалами, развитого главным образом в трудах А. В. Думанского, П. А. Ребиндера, С. М. Липатова, А. В. Лыкова, М. Ф. Казанского и других советских ученых.

В диссертации мы придерживались деления дисперсных материалов на три типа: капиллярнопористые, коллоидные и коллоидные капиллярнопористые, предложенного А. В. Лыковым, а также классификации форм связи влаги с твердой фа-

зой материала, разработанной П. А. Ребиндером и уточненной в работах А. В. Лыкова, Ю. Л. Кавказова, М. Ф. Казанского и других исследователей.

Здесь также приводится обзор литературы относительно механизма взаимодействия влаги с твердой фазой тела, видоизмененных свойств различных категорий поглощенной материалом влаги по сравнению со свойствами свободной воды в объеме.

На основании анализа описанных в литературе методов определения форм и состояний влаги, поглощенной дисперсными материалами, сделан вывод, что для изучения дифференциальных водоудерживающих свойств выбранных объектов исследования наиболее надежными являются тензиметрический метод, методы теплот смачивания и термограмм изотермической сушки тонких образцов по М. Ф. Казанскому. Последний метод является кинетическим и выгодно отличается от других известных методов тем, что он позволяет из одного опыта определить все формы и виды связи влаги в материале при сравнительно малой длительности эксперимента (несколько часов).

Описаны устройства адиабатической калориметрической установки и методики определения теплот смачивания объектов исследования, которые принципиально не отличаются от описанных в работах А. В. Думанского и Ф. Д. Овчаренко.

Приведено детальное описание собранной нами установки для получения термограмм изотермической сушки по М. Ф. Казанскому, методика проведения опытов и анализа критических точек термограмм.

III

В третьей главе приведены гидрофильные, некоторые структурно-геометрические характеристики объектов исследования, а также дифференциальные термодинамические функции влаги, удерживаемой этими материалами.

Исходя из большого разнообразия дисперсных материалов необходимо было для исследования выбрать небольшое количество материалов, которые по своему физико-химическому строению, дифференциальным водоудерживающим свойствам и пористой структуре были бы наиболее характерными для основных типов дисперсных материалов.

В качестве типичного капиллярнопористого тела был выбран однороднокопористый силикагель КСМ-5.

Как типичное коллоидное тело был взят нативный картофельный крахмал, физико-химические и дифференциальные водоудерживающие свойства которого достаточно полно изучены другими авторами.

В качестве образцов коллоидных капиллярнопористых тел были взяты глинистые минералы различного минералогического и химического состава: монотермитная Часов-ярская глина, каолинитовая Киевская глина, а также Пыжевский и Черкасский бентониты, содержащие в основном монтмориллонитовый минерал.

Приводится химический состав глинистых минералов, заимствованный из литературных источников.

Форма и размер частиц глинистых минералов и силикагеля изучены с помощью электронномикроскопических исследований с использованием как прямого метода, так и метода реплик.

Гранулометрический состав объектов исследования проведен с помощью полудисперсного метода анализа.

Дифференциальные водоудерживающие свойства объектов исследования изучены с помощью тензиметрического метода, метода теплот смачивания и термограмм изотермической сушки.

Влагосодержания мономолекулярной адсорбции объектов исследования рассчитаны из изотерм сорбции с помощью уравнения полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета и Теллера. Количества адсорбционно-связанной влаги объектов исследования определены по данным теплот смачивания с помощью эмпирического правила А. В. Думанского и термограмм изотермической сушки.

Максимальные гигроскопические влагосодержания определены с помощью изотерм сорбции и термограмм изотермической сушки.

Некоторые эти данные приводятся в литературе и хорошо совпадают с полученными нами.

Дифференциальные водоудерживающие свойства объектов исследования и их зависимости от температуры, полученные с помощью термограмм сушки, использованы для анализа зависимостей коэффициентов внутреннего массопереноса от влагосодержания и температуры.

Используя изотермы сорбции и десорбции, данные по теплотам смачивания, величины истинной и кажущейся плотности материалов, были получены сведения об интегральных и дифференциальных структурно-геометрических характеристиках объектов исследования.

Силикагель, как поликапиллярнопористое тело, имеет смешанную микро- и макропористую структуру. Глинистые минералы в основном микропористые.

Дифференциальные кривые распределения объема пор по

их эффективным размером для Часов-ярской и Киевской глин, а также картофельного крахмала не имеют максимума, что характерно для неоднороднопористых структур.

Остальные образцы имеют явно выраженный максимум, который соответствует наиболее преобладающим эффективным размерам пор.

Взаимодействие дисперсных материалов с водой наиболее ярко отображается на кривых зависимости средних значений дифференциальных термодинамических функций влаги от влагосодержания, получаемых на основе данных совместного применения калориметрического и сорбционного методов исследования.

Парциальные теплоты смачивания (отнесенные к единице массы сухого вещества) для всех исследованных нами образцов изменяются так: в области малых влагосодержаний уменьшаются быстро, в области больших влагосодержаний — медленно. Такое нелинейное уменьшение теплот смачивания в зависимости от влагосодержания материалов свидетельствует о неоднородности поверхности исследуемых нами образцов, а также энергетической неоднородности связанной воды, которая, очевидно, обусловлена неравноценностью центров адсорбции.

На основе полученных и частично заимствованных из литературы данных были рассчитаны дифференциальные термодинамические функции (свободной энергии, энтальпии и энтропии) влаги, удерживаемой материалом, и подтвержден вывод А. В. Думайского и его сотрудников о том, что связанная влага по своим термодинамическим свойствам отличается от свободной воды в объемной фазе и является новой фазой, характеризующейся упорядоченным расположением молекул воды на поверхности материала.

Наиболее характерными, отчетливо выраженными для этих целей являются кривые изменения дифференциальной энтропии в зависимости от предварительного увлажнения абсолютного сухого материала.

IV

В четвертой главе рассматриваются результаты исследования зависимости коэффициентов внутреннего массопереноса типичных дисперсных материалов от влагосодержания и температуры с учетом различия форм и видов связи влаги с твердой фазой тела.

Образцы для определения коэффициентов внутреннего массопереноса готовились следующим образом: исследуемые материалы очищались от механических и воднорастворимых при-

месей методом седиментометрии. После этого медленно высушивались при 110°C до постоянного веса. Во избежание клейстеризации крахмал сушился сначала при 60°C , а затем при 110°C . После высушивания глинистые минералы и крахмал растирались в фарфоровой ступке и фракционировались просеиванием через сито ($d \leq 0,25$ мм). Силикагель КСМ-5 был взят фракцией $0,25 \leq d \leq 0,5$ мм. Увлажнение образцов в области гигроскопического состояния производилось в эксикаторах при различных относительных влажностях воздуха. Увлажнение образцов в области влажного состояния производилось с помощью пульверизатора с одновременным интенсивным перемешиванием и растиранием в ступке для равномерного увлажнения.

Равномерное распределение влаги в образце играет существенную роль для получения точных результатов при определении коэффициентов внутреннего массопереноса. Поэтому навески с различными влагосодержаниями материала помещались в герметически закрытые сосуды и выдерживались в них не менее суток.

Во всех опытах по определению зависимости коэффициентов внутреннего массопереноса в качестве эталонного материала была взята целлюлоза в виде обеззоленной фильтровальной бумаги ГОСТ 7246-54, ТУ ММП РСФСР № 304-64, влажностные характеристики которой определялись специально.

Кривые, выражающие зависимость коэффициентов внутреннего массопереноса от влагосодержания, имеют сингулярные точки. Высказано суждение относительно причин резкого изменения коэффициентов внутреннего массопереноса дисперсных материалов в этих точках.

При влагосодержаниях, для всех исследуемых материалов, примерно соответствующих влаге мономолекулярной адсорбции, значения коэффициента диффузии влаги a_m велики вследствие диффузионного перемещения влаги в основном в виде пара. Таким образом, при этих влагосодержаниях дисперсные материалы являются менее инерционными по отношению развития полей влагосодержания. Начиная от влагосодержаний материалов, соответствующих влаге мономолекулярной адсорбции, до влагосодержаний, равных количеству адсорбционно-связанной влаги, значения a_m уменьшаются. Видимо, это связано с тем, что в этой области влагосодержаний перенос влаги происходит диффузионным путем в виде пара и жидкости, но в общем потоке влаги преобладающим является перенос ее в виде жидкости.

Начиная с влагосодержаний, соответствующих для всех материалов количеству адсорбционно-связанной влаги, ход кривых $a_m(w)$ различен.

Для силикагеля, начиная от указанного выше влагосодержания при его постепенном увеличении после начала капиллярной конденсации, значения a_m остаются постоянными, после чего резко возрастают и достигают экстремального значения при влагосодержании, равном максимальному гигроскопическому. Постоянство значений a_m в этой области влагосодержаний, следует объяснять наличием сконденсированной в микрокапиллярах влаги и ее пленочным переносом; резкое возрастание значений a_m — видимо связано с наличием переходных пор в силикагеле, как типичном поликапиллярнопористом теле и перемещением по ним влаги в основном в виде пара.

Аналогичный ход зависимости $a_m(w)$ в области влагосодержаний от адсорбционно-связанной влаги до максимальной гигроскопической имеет место для Часов-ярской глины. Это сходство объясняется нами также наличием в ней переходных пор.

Для Пыжевского и Черкасского бентонитов, Киевской глины и картофельного крахмала, в рассматриваемой области влагосодержаний, наблюдается плавное уменьшение значений коэффициента a_m , так как в этих материалах отсутствуют переходные поры и в общем потоке влаги доля переноса влаги в виде жидкости возрастает.

По-видимому, этот факт может свидетельствовать о микропористой структуре перечисленных материалов.

При увеличении влагосодержания от максимального гигроскопического для силикагеля наблюдается резкое уменьшение значений a_m . Это уменьшение замедляется при переходе к влагосодержаниям стыкового состояния и обусловлено увеличением доли жидкости в общем влагопереносе диффузионным путем по переходным и макропорам межзернового пространства, характерного для силикагелей.

Для Часов-ярской глины после максимального гигроскопического влагосодержания значения a_m незначительно увеличиваются с ростом влагосодержания.

Пыжевский и Черкасский бентониты, Киевская глина и картофельный крахмал при переходе в область влажного состояния характеризуются примерно постоянным значением a_m . При этом перенос влаги, очевидно, осуществляется в виде жидкости диффузионным путем.

В области влажного состояния, когда начинается заполне-

ние влагой пор одинакового размера, значения a_m для всех материалов резко возрастают. Такое резкое возрастание значений a_m характерно для молярного перемещения воды в межзерновом пространстве материала.

Кривая $a_m(w)$ для силикагеля является наиболее общей и содержит в себе все характерные изменения коэффициента a_m для других материалов. Это свидетельствует о большой роли пористой структуры и форм связи влаги в процессе изотермического влагопереноса в дисперсных материалах.

Значения коэффициента a_m при фиксированных влагосодержаниях больше для капиллярнопористых материалов по сравнению с коллоидными. Например, для силикагеля при влагосодержании, соответствующем влаге мономолекулярной адсорбции ($w_m = 8,7\%$) — $a_m = 0,4 \text{ м}^2/\text{сек}$ при 20°C , а для крахмала при $w_m = 18\%$ — $a_m = 0,3 \text{ м}^2/\text{сек}$, для силикагеля при влагосодержании равном адсорбционно-связанной влаге ($w_A = 19\%$) — $a_m = 0,2 \text{ м}^2/\text{сек}$, а для крахмала при $w_A = 34\%$ — $a_m = 0,1 \text{ м}^2/\text{сек}$, для силикагеля при максимальном гигроскопическом влагосодержании ($w_{\text{гг}} = 47,5\%$) — $a_m = 1,3 \text{ м}^2/\text{сек}$, а для крахмала при $w_{\text{гг}} = 44,5\%$ — $a_m = 0,07 \text{ м}^2/\text{сек}$.

Для всех исследуемых материалов с ростом температуры значения a_m возрастают, а общий ход кривых $a_m(w)$ в пределах $20\text{--}60^\circ\text{C}$ остается почти неизменным и кривые $a_m(w)$ расположены примерно эквидистантно. Показатель степени n в формуле температурной зависимости коэффициента диффузии влаги $a_{m2} = a_{m1} \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^n$ для исследуемых материалов в гигроскопической области влагосодержаний находится в пределах от 6 до 10.

По экспериментальным данным определения коэффициента диффузии влаги материалов и сорбционным свойствам целлюлозы, как эталонного материала, были получены также зависимости $\Theta(u_r)$, $c_m(u_r)$, $\lambda_m(u_r)$, где u_r — влажность материала на границе с эталоном в конце опыта.

Показано, что экспериментальный потенциал переноса влаги для всех исследуемых материалов увеличивается медленнее в области гигроскопического состояния и сильнее в области влажного состояния.

Кривая зависимости $\Theta = f(u_r)$ примерно до границы адсорбционно-связанной влаги обращена выпуклостью к оси потенциалов. Это, видимо, обусловлено более прочной связью адсорбированной влаги. В области влажного состояния значения Θ возрастают сильно и примерно линейно с повышением влагосодержания материала. Последнее свидетельствует об

однородной форме связи влаги со скелетом материала в области влажного состояния.

С увеличением температуры значения потенциала Θ для фиксированных влагосодержаний увеличиваются. Графическим дифференцированием кривой $u_r = f(\Theta)$ получены значения удельной изотермической массоемкости c_m . Значения c_m увеличиваются при малых влагосодержаниях и уменьшаются в области влажного состояния при повышении влагосодержания.

Расчетным путем по формуле $\lambda_m = a_m c_m \gamma_0$ получены значения коэффициента теплопроводности λ_m .

Небольшое увеличение коэффициента теплопроводности λ_m при малых значениях влагосодержаний, видимо, обусловлено тем, что количество воздуха в микропорах, который препятствует перемещению пара, значительное. При перемещении пара по переходным порам значения λ_m резко возрастают, так как постепенное уменьшение количества воздуха создает благоприятные условия для транзитного переноса пара по всей толще материала.

С повышением температуры для всех исследуемых материалов при определенных влагосодержаниях значения коэффициента теплопроводности возрастают.

Характер изменения кривой $\lambda_m(u_r)$ остается почти неизменным в данном интервале температур 20—60°C.

Для анализа кинетики взаимосвязанных процессов массо- и теплопереноса во влажных дисперсных материалах важной массообменной характеристикой является термоградиентный коэффициент δ , который определялся нами стационарным методом.

Общий характер изменения кривой зависимости термоградиентного коэффициента δ от влагосодержания для исследуемых глинистых минералов примерно одинаков.

В области гигроскопического состояния влага в мелкодисперсных глинистых материалах в основном перемещается в виде пара и значения термоградиентного коэффициента, начиная с влагосодержаний мономолекулярной адсорбции до максимального гигроскопического, увеличиваются с повышением влагосодержания материала, достигая максимального значения при максимальном гигроскопическом влагосодержании.

В области влажного состояния для исследованных нами глинистых минералов влага в основном движется в виде жидкости и значения δ начиная с максимального гигроскопического влагосодержания материала уменьшаются и при вла-

госодержаниях глинистых минералов, примерно равных влаге намокания, становятся равными нулю.

Интересным является сравнение значения коэффициентов δ для глин и бентонитов различного минералогического состава. Например, максимальное среднее значение коэффициента δ для Часов-ярской глины равно 1,00%/град, для Киевской глины — 1,10%/град, для Черкасского бентонита — 1,24%/град, а для Пыжевского бентонита — 1,48%/град.

Отсюда можно сделать вывод, что с уменьшением «жесткости» пакетов глинистых материалов коэффициент δ увеличивается.

Таким образом на основании проведенного исследования установлено, что все коэффициенты внутреннего массопереноса влажных дисперсных материалов определяются не только его интегральным влагосодержанием, но и в значительной степени определяются различием форм связи и состояниями поглощенной влаги, а также пористой структурой материала и механизмом переноса влаги.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Существенно изменена экспериментальная установка для определения коэффициентов внутреннего массопереноса влажных дисперсных материалов по методу нестационарного потока влаги в изотермических условиях, которая позволяет определять коэффициенты внутреннего массопереноса мелкодисперсных материалов в широком диапазоне влагосодержаний.

2. Для анализа зависимости коэффициентов внутреннего массопереноса от влагосодержания и температуры в связи с учетом различия форм и видов связи влаги со скелетом материала было проведено исследование форм и видов связи влаги с исследуемыми материалами при помощи трех независимых методов (тензиметрический, теплоты смачивания и термограммы изотермической сушки).

3. На основе опытных данных по теплотам смачивания, изотермам сорбции и десорбции рассчитаны некоторые структурно-геометрические свойства исследуемых материалов и дифференциальные термодинамические функции влаги, удерживаемой этими материалами.

4. Экспериментально установлено, что характер изменения зависимости коэффициента диффузии влаги для силикагеля, как типичного поликапиллярнопористого тела, является наиболее общим среди исследованных других типичных представителей различных групп дисперсных материалов и

включает в себя кривые $a_m = f(w)$ для грубодисперсных, коллоидных и коллоидных капиллярнопористых тел.

Установлено и объяснено, что отсутствие той или иной формы связи влаги с материалом и вида переноса влаги, обусловленных пористой структурой, явно отражается на характере кривой $a_m = f(w)$.

5. Установлено, что экспериментальный потенциал переноса влаги увеличивается для всех исследуемых материалов с увеличением их влагосодержания. Его изменения определяются пористой структурой и гидрофильными свойствами материалов.

6. Графическим дифференцированием кривой $u_r = f(\theta)$ показано, что коэффициент c_m увеличивается при малых влагосодержаниях и уменьшается в области влажного состояния при повышении влагосодержания.

7. Характер изменения кривых $\lambda_m(u_r, t)$ также определяется не только общим влагосодержанием материала, но и его дифференциальными водоудерживающими свойствами.

8. Для всех исследуемых материалов значения a_m , λ_m , θ с повышением температуры возрастают; общий ход изменения кривых зависимости этих величин от влагосодержания в пределах 20—60°C остается почти одинаковым. С повышением температуры коэффициент c_m уменьшается.

9. Установлено, что термоградиентный коэффициент глинистых минералов равен нулю при влагосодержаниях материалов, соответствующих влаге мономолекулярной адсорбции. Затем коэффициент δ возрастает, принимая максимальное значение при влагосодержании материала, равном максимальному гигроскопическому влагосодержанию. В области влажного состояния коэффициент δ уменьшается, приближаясь к нулю при влагосодержании материалов, близких к влаге намочания.

С повышением температуры коэффициент δ уменьшается.

10. Полученные зависимости коэффициентов диффузии влаги и термоградиентного коэффициента от влагосодержания могут быть использованы как для ранее указанных целей, так и в качестве методического приема для анализа форм и видов связи влаги, поглощенной материалом.

Основные результаты работы были доложены на семинаре-совещании «Характеристики массопереноса и методы их определения», организованном Всесоюзным Комитетом по сушке (13—15.VI 1966 г. Москва), на Сессии Научного Совета АН УССР по проблеме «Высокотемпературная теплофизика» (10—12.XI 1966 г. Киев), на научных конференциях Киевского госпединститута им. А. М. Горького и Туркменского госпединститута

ім. В. І. Леніна (1963—1967 гг.), а також опубліковані в наступних печатних роботах:

1. Душенко В. П., Байджанов Х. Б. Определение коэффициента диффузии влаги и термоградиентного коэффициента в некоторых коллоидных капиллярнопористых материалах. Инженерно-физический ж., 9, 2, 201, 1965.
2. Байджанов Х. Б., Душенко В. П. Определение коэффициента диффузии влаги в некоторых глинистых материалах. Сб. «Теплофизические свойства веществ». «Наукова думка», К., 1966.
3. Душенко В. П., Байджанов Х. Б., Ролль Ю. В. Анализ форм связи и состояний влаги с помощью термограмм сушки. Известия вузов СССР, «Пищевая технология», 3, 154, 1965.
4. Душенко В. П., Байджанов Х. Б. Про визначення форм зв'язку вологи деяких дисперсних матеріалів. Тези доповідей звітної наукової конференції КДПІ ім. Горького, 1964.
5. Душенко В. П., Байджанов Х. Б. Про сорбцію водяної пари деякими гідрофільними дисперсними речовинами. Тези доповідей звітної наукової конференції КДПІ ім. Горького, 1965.
6. Байджанов Х. Современные методы определения форм и видов связи влаги с дисперсными телами. Материалы V научно-теоретической конференции Туркменского госпедниститута им. В. И. Ленина, 1966.
7. Байджанов Х. Б., Душенко В. П., Дринь А. П., Вовк П. К. Дослідження залежності коефіцієнта дифузії вологи, термоградиентного коефіцієнта від вологості і температури для Пижевського і Черкаського бентонітів. Тези доповідей звітної наукової конференції КДПІ ім. Горького, 1966.
8. Семко О. Я., Душенко В. П., Байджанов Х. Б. Про деякі сорбційні і структурно-геометричні характеристики колоїдних капиллярнопористих речовин. Тези доповідей звітної наукової конференції КДПІ ім. Горького, 1966.
9. Душенко В. П., Байджанов Х. Б. Определение коэффициентов внутреннего массопереноса влажных дисперсных материалов. Тезисы докладов семинара-совещания «Характеристики массопереноса и методы их определения» (11—15 июня 1966 г. Москва).
10. Душенко В. П., Байджанов Х. Б. Дослідження залежності коефіцієнтів внутрішнього масопереносу в дисперсних матеріалах від вологості і температури. Тези доповідей звітної наукової конференції КДПІ ім. Горького, 1967.
11. Душенко В. П., Барановский В. М., Байджанов Х. Б. Зависимость коэффициентов тепло- и массопереноса коллоидных материалов от влагосодержания и температуры. Известия вузов СССР, «Пищевая технология», 1967 (в печати).

БФ 17121. Подписано к печати 11.III 1967 г. Формат бумаги 60×84¹/₁₆.
Объем 1,25 печ. л. Зак. 1366. Тираж 150.

Киев, тип. № 3, цех 2.